Буркова. - М.: Высшая школа, 2005, 423 с.

2. Баркалов С.А., Бабкин В.Ф. Управление проектами в строительстве: учебное пособие. - Воронеж: Изд-во ВГАСУ, 2000, - 310 с.

3. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гилязов Н.М. Методы агрегирования и управления проектами. - М., ИПУ РАН, 1999, - 68 с.

4. Бурков В.Н., Баркалов С.А. Модель согласования интересов в задаче управления проектами// Матем. моделирование информационных и технолог, 2003. Вып. 6. - С. 58-60.

5. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем. - М.: Наука, 1981. - 383 с.

6. Новосельцев В.И. Системный анализ: современные концепции. - Воронеж: Кварта, 2003. - 320 с.

7. Порядина В.Л. Управление социально-экономическими проектами: конкурсный подход: монография. - Воронеж: Издательско-полиграфический центр "Научная книга", 2015. - 230 с.

8. Порядина В.Л. Анализ модели расчета производственной программы по различным экономическим критериям. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. Выпуск №1 (7), 2015. С. 118-124.

9. Баранников Н.И., Баркалов С.А., Порядина В.Л., Семенов П.И., Шиянов В.А. Управление проектами. - Воронеж: «Научная книга», 2011. - 311 с.

10. Порядина В.Л., Новосельцев В.И., Егорочев С.В. К вопросу о формировании целей, предпочтений и критериев эффективности проектов. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Управление строительством. Выпуск № 2 (5), 2013. С. 128-134

11. Алферов В.И., Баркалов С.А., Курочка П.Н. Управление проектами в дорожном строительстве. Воронеж, 2009.

Тушавин В.А.

РАНЖИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ КЕМЕНИ-ЯНГА И ШУЛЬЦЕ

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Введение

При ранжировании объектов на основании множества экспертных оценок возникает проблема выбора адекватного метода, достаточно подробно рассматриваемая в рамках методики оптимальных решений, теории выбора и нечисловой статистики. Следует отметить, что к настоящему времени в отечественной практике наиболее известен метод Кемени-Янга (Kemeny-Young), также называемый «медиана Кемени». Эвристический и комбинаторный алгоритм расчета в отечественной науке впервые был предложен в работе Б.Г. Литвака [1], несколько иной подход был использован в работе В.Н. Жихарева [2]. В работе А.И. Орлова [3] предлагается подход, основанный на редуцировании всего множества возможных решений до выбора из числа существующих экспертных оценок. Следует отметить, что описанные методы достаточно сложны для практического применения, что затрудняет их использование в практической деятельности. Другим подходом к решению данной задачи является метод Шульце (Schulze) или метод последовательного исключения Шварца (Schwartz) [4], который отличается от принятого в отечественной квалиметрии метода Кемени-Янга меньшей алгоритмической сложностью, а

также удовлетворяет критерию клонов, предложенному Н. Тидеманом (Tideman). В настоящей работе описывается реализация алгоритма, позволяющего ранжировать объекты с использованием метода Шульце и медианы Кемени, а также с применением метода Борда (Borda). Для воспроизводимости результатов все расчеты доступны по URL: https://github.com/Tushavin/RANKING.

Методика

Пусть оценивается n параметров m экспертами, а данные для расчета представляют из себя матрицу оценок $\|a_{ij}\|_{m\times n}$. Каждая оценка a_{ij} принимает значение от нуля до $(n\text{-}1)$, таким образом, что если a_{ik} предпочтительнее a_{im}, то $a_{ik}<a_{im}$.

Эвристика метода Шульца заключается в следующем: пусть d[V,W] число голосов кандидатов, которые предпочитают кандидата V кандидату W. Тогда путем в графе от кандидата X к кандидату Y с силой p будет называется последовательность кандидатов C(1), …, C(n), обладающая свойствами:

1. C(1)=X и C(n)=Y;
2. Для всех i=1, … ,(n-1):d[C(i),C(i+1)] > d[C(i+1),C(i)];
3. Для всех i=1, … ,(n-1):d[C(i),C(i+1)] ≥ p.

Пусть p[A,B] - сила самого сильного из путей от кандидата A к кандидату B, т.е. максимум из всех возможных p, посчитанных по вышеописанной методике. В случае, если от кандидата A нет пути к кандидату B, p[A,B] =0.

Кандидат D лучше чем кандидат E тогда и только тогда, когда p[D,E]>p[E,D].

Кандидат D является возможным победителем над любым кандидатом E тогда и только тогда, когда p[D,E]≥p[E,D]. Отсюда следует, что если p[X,Y]>p[Y,X] и p[Y,Z]>p[Z,Y], то p[X,Z]>p[Z,X] [6].

Для нахождения самого сильного пути использован модифицированный алгоритм Флойда-Уоршелла, используемого для нахождения кратчайших расстояний между всеми вершинами взвешенного ориентированного графа с последующим подсчетом числа доминирования для каждого из параметров.

Под медианой Кемени понимают такое ранжирование $\hat{\tau}$, для которого $\sum_i d(\hat{\tau},\tau_i) \le \sum_i d(\tau,\tau_i)$ при любых τ, где d - функция расстояния между рангами. Для нахождения медианы Кемени задача была сведена к решению задачи линейного программирования в соответствии с методикой [5], которую кратко можно описать следующим образом. Пусть дан взвешенный орграф G(V,E) с вершинами V и ребрами E, где V - все имеющиеся комплексные показатели, а E определяются следующим образом: для каждой пары i и j находится $\#\{i>j\}$, т.е. количество случаев, когда ранг i превышает ранг j. Тогда вес ребра e от i к j равен $w_e=|\#\{i>j\}-\#\{j>i\}|$, после чего задача может быть представлена следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_{e\in E} w_e x_e \to \min \\ \forall i \ne j \in V,\ x_{ij} + x_{ji} = 1 \\ \forall i \ne j \ne k \in V,\ x_{ij} + x_{jk} + x_{ki} \ge 1 \end{cases}$$

Таким образом, если число вершин равно n, то число коэффициентов целевой функции равно n^2, а число строк в системе ограничений равно n(n-1)/2+n(n-1)(n-2). Решение задачи линейного программирования в GNU R производится с помощью пакета **lpSolve** [6].

Для нахождения решения методом Борда достаточно произвести преобразование рангов и посчитать сумму по колонкам в матрице оценок $\|a_{ij}\|_{m\times n}$. Было реализовано три подхода: ранги начинаются от n, ранги начинаются с (n-1) и ранги равны (i+1)/n.

Результаты сравнения алгоритмов

Реализация описанных алгоритмов в R показало наибольшую скорость вычисления и полную непредсказуемость конечного результата при использовании метода Борда. Как и следовало ожидать, метод полного перебора всех возможных рангов для медианы Кемени показал наименьшую эффективность (см. рис.1).

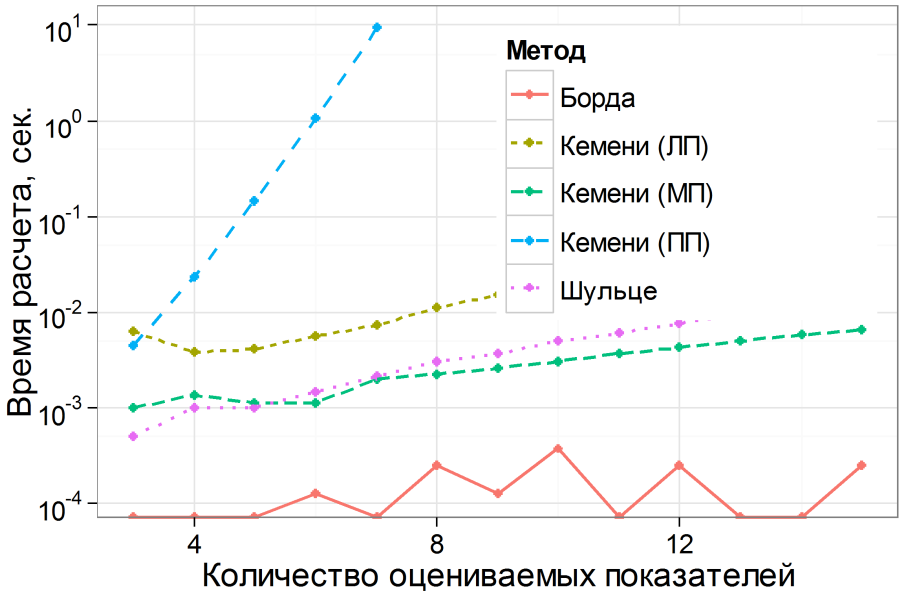

Рис. 1. Анализ времени исполнения программ ранжирования объектов. Для медианы Кемени расчеты произведены: методом линейного программирования (ЛП) [5], методом полного перебора (ПП) и методом перебора из множества существующих решений (МП) [3]

Эффективность расчета медианы Кемени модифицированным алгоритмом, в связи с небольшим количеством обрабатываемых голосов в тестовом примере, и методом Шульце оказывается примерно одинаковыми. Однако, следует учитывать, что, во-первых, модифицированный алгоритм ищет наилучшее из возможных, но не оптимальное решение. Во-вторых при росте числа рангов, например, в случае рандомизации показателей матрицей из 1000 и более элементов, скорость вычисления упадет значительно. Таким образом, для практической деятельности целесообразно использовать два подхода: нахождение медианы Кемени методом линейного программирования и нахождение решения с помощью метода Шульце.

Методика ранжирование комплексных показателей качества может быть описана следующим образом:

1. Произвести робастное преобразование исходных показателей качества для каждого из *k* объектов [7]. Данное преобразование основывается на том факте, что по мере удаления по одной из возможных осей единичного показателя качества от эталонного к наихудшему это изменение не одинаково воспринимается потребителем на различных участках шкалы, в данном случае целесообразно использовать функцию потери качества Тагучи:

$$L = kE(Y - T)^2,$$

где L - функция потери качества, k - коэффициент потери качества, E - ожидаемое значение, T - целевое значение Y [8]. Таким образом, функция потери качества имеет вид симметричной относительно целевого значения параболы. Учитывая, что для большинства единичных показателей качества услуг превышение целевой («идеальной») границы невозможно (например, невозможно получить среднюю оценку пользователей больше пяти, если используется пятибалльная шкала, либо превысить 100 процентную доступность системы), тогда, направив шкалы в одну сторону (больше - лучше), в качестве функции обратной потери качества можно использовать перевернутую полупараболу, принимающую значение единицы в наилучшей точке на шкале, а нуля в минимально допустимой. Для нахождения параболы, симметричной относительно оси проходящей через наилучшее значение, по трем точкам решаем соответствующую систему уравнений.

2. Выделить доминирующие и компенсирующие показатели, определить функцию свертки. Под доминирующими показателями в данном случае понимаются главные характеристики процесса, а компенсирующими - такие показатели, нулевая оценка любого из которых не влечёт за собой нулевую оценку комплексного показателя качества, при этом нулевая или низкая оценка такого показателя может быть компенсирована другими оценками [9].

3. Определить вербальные предпочтения лица, принимающего решение в каждой из групп показателей. Ограничения представляются в виде неравенств, и они используются для ограничения при генерации рандомизированных весовых коэффициентов.

4. Сгенерировать матриц(ы) случайных весов на основе заданных предпочтений (в случае, если показатели разделяются на доминирующие и компенсирующие, необходима генерация двух матриц). При задании матриц используется генерация значений на основании распределения Дирихле с отражением точек относительно секущих плоскостей, образованных неравенствами [5].

5. Для каждого элемента массива случайных весов ранжировать показатели.

6. Найти оптимальное ранжирование с использованием медианы Кемени и/или метода Шульце.

Экспериментальная часть

Рассмотрим решение задачи ранжировании объектов на примере. Пусть имеются следующие единичные показатели качества (табл. 1) [10].

Рассмотрим свёртку с ограничениями. Ограничения сформируем в виде следующего неравенства весовых коэффициентов $p_3 > p_1$, $p_1 > p_2$, $p_6 > p_4$, $p_5 > p_4$,

$p_2 > p_4$. Учитывая, что в рамках метода рандомизации весовые коэффициенты становятся случайными величинами, все пять неравенств следует рассматривать как события, которые должны выполняться с вероятностью единица.

Рассмотрим показатели 7 сотрудников (строки «2»-«8» в табл. 2) и минимально приемлемый уровень качества (строка «1» в таблице 2).

Таблица 1

Показатели качества работы сотрудника службы технической поддержки (KPI)

Индикатор качества	Обозначение	Способ измерения/оценки
Средняя оценка	$X^{(1)}$	Средняя оценка, выставленная пользователем, после оказания услуги и закрытия обращения. Оценка находится в диапазоне [1:5], средний балл преобразуется в десятибалльную шкалу умножением на два
Доля обращений, разрешенных в срок	$X^{(2)}$	Отношение числа обращений, разрешенных данным сотрудником в установленный срок к общему числу обращений [0:1]. Переводится в десятибалльную шкалу умножением на десять
Доля обращений без жалоб	$X^{(3)}$	Число обращений без жалоб к общему числу обращений [0:1]. Переводится в десятибалльную шкалу умножением на десять
Интенсивность труда	$X^{(4)}$	Экспертная оценка [1:10]. Выставляется руководителем подразделения на основании порядковой квалиметрической шкалы
Ответственность	$X^{(5)}$	Экспертная оценка [1:10]. Выставляется руководителем подразделения на основании порядковой квалиметрической шкалы
Трудовая дисциплина	$X^{(6)}$	Экспертная оценка [1:10]. Выставляется руководителем подразделения на основании порядковой квалиметрической шкалы

Таблица 2

Значения индикаторов качества

	Q_1	**Q_2**	**Q_3**	**Q_4**	**Q_5**	**Q_6**
1	6,00	9,50	9,90	7,00	7,00	8,00
2	7,00	9,84	10,00	10,00	8,00	10,00
3	6,00	10,00	10,00	6,00	8,00	10,00
4	6,00	10,00	9,50	7,00	8,00	9,00
5	6,89	9,59	10,00	6,00	7,00	8,00
6	7,00	10,00	10,00	8,00	6,00	9,00
7	6,00	9,10	10,00	8,00	5,00	8,00
8	7,50	9,81	10,00	9,00	9,00	7,00

Шаг 1. Произведено робастное преобразование. В качестве наилучшего значения использовано десять, а наихудшего - единица. Результаты представлены в табл. 3.

Шаг 2. Выделены доминирующие и компенсирующие показатели. В данном случае можно рассматривать все показатели как компенсирующие.

Шаг 3. Определены вербальные предпочтения лица, принимающего решение, в каждой из групп показателей. Ограничения заданы условиями:

$p_3 > p_1$, $p_1 > p_2$, $p_6 > p_4$, $p_5 > p_4$, $p_2 > p_4$.

Шаг 4. Сгенерирована матрица случайных весов из 1000 элементов. Статистика матрицы приведена в табл. 4.

Таблица 3

Результат робастного преобразования данных

Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
0.8025	0.9969	0.9999	0.8889	0.8889	0.9506
0.8889	0.9997	1.0000	1.0000	0.9506	1.0000
0.8025	1.0000	1.0000	0.8025	0.9506	1.0000
0.8025	1.0000	0.9969	0.8889	0.9506	0.9877
0.8806	0.9979	1.0000	0.8025	0.8889	0.9506
0.8889	1.0000	1.0000	0.9506	0.8025	0.9877
0.8025	0.9900	1.0000	0.9506	0.6914	0.9506
0.9228	0.9996	1.0000	0.9877	0.9877	0.8889

Таблица 4

Статистика матрицы случайных весов

V1	V2	V3	V4	V5
Min. :0.009221	Min. :0.05839	Min. :8.818e-05	Min. :8.348e-05	Min. :0.2450
1st Qu.:0.117590	1st Qu.:0.21728	1st Qu.:1.705e-02	1st Qu.:4.370e-02	1st Qu.:0.3657
Median :0.158201	Median :0.26043	Median :3.989e-02	Median :7.212e-02	Median :0.4425
Mean :0.156594	Mean :0.25911	Mean :4.948e-02	Mean :7.812e-02	Mean :0.4567
3rd Qu.:0.198350	3rd Qu.:0.30305	3rd Qu.:7.045e-02	3rd Qu.:1.097e-01	3rd Qu.:0.5296
Max. :0.304276	Max. :0.43814	Max. :2.374e-01	Max. :2.249e-01	Max. :0.8879

Шаг 5. Произведено ранжирование показателей. Первые шесть из 1000 представлены в табл. 5.

Таблица 5

Ранги показателей

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1	1	3	2	4	0	5
2	1	3	2	4	0	5
3	1	3	2	4	0	5
4	1	3	2	4	5	0
5	1	3	2	4	0	5
6	1	3	2	4	0	5

Шаг 6. Произведен расчет с помощью предложенной методики. Наилучший порядок в обоих случаях получается (1, 3, 2, 4, 0, 5), что соответствует $Q_2 > Q_4 > Q_3 > Q_1 > Q_5$. Таким образом, задача решена. Второй, четвертый и третий сотрудник превышает требуемый уровень качества, а пятый нет.

Заключение

В статье впервые описывается практическое использование в совокупности таких методов, как применение робастного проектирования, разделение показателей на доминирующие и компенсирующие, стохастическое доминирование и ранжирование методом Шульце и Кемени-Янга. Данный подход является новым и позволяет предоставить лицу, принимающему решение, более объективную, достоверную и полную информацию, чем при традиционных подходах. Описанные в статье алгоритмы впервые реализованы

средствами языка R.

Результаты данной работы могут быть полезны исследователям, занимающимися проблемами, связанными с совершенствованием бизнес-процессов предприятия, а также имеют практическую направленность и ориентированы на широкий круг менеджеров, связанных с контроллингом на предприятии, а также исследователям, занимающимися сходными проблемами.

Список использованных источников

1. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. - М.: Радио и связь,1982 - 184 с.

2. Жихарев В.Н., Орлов А.И. Законы больших чисел и состоятельность статистических оценок в пространствах произвольной природы // Статистические методы оценивания и проверки гипотез: межвуз. сб. науч. тр. - Пермь: Изд-во Пермского госуд. ун-та, 1998. - С. 65-84.

3. Орлов А.И. Средние величины и законы больших чисел в пространствах произвольной природы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ), 2013. - №05(089). С. 556-586. - http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/38.pdf.

4. Schulze M. A new monotonic, clone-independent, reversal symmetric, and Condorcet-consistent single-winner election method // Social Choice and Welfare. 2011 Vol. 36, No 2, P. 267-303.

5. Conitzer V., Davenport A., Kalagnanam J. Improved Bounds for Computing Kemeny Rankings // AAAI'06: Proc. of the 21st National Conf. on Artificial Intelligence, 2006 Vol. 1. P. 620-626.

6. lpSolve: Interface to 'Lp_solve' v. 5.5 to Solve Linear/Integer Programs [R package version 5.6.13] / M. Berkelaar at al. - 2016. - http://CRAN.R-project.org/package=lpSolve.

7. Тушавин В. А. Робастный подход к оценке комплексного показателя качества ИТ-услуг // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 4 (58). С. 92-95.

8. Yang K., EI-Haik B.S. Design for Six Sigma. - The McGraw-Hill, 2009. 741 p.

9. Тушавин В.А. Развитие квалиметрии услуг на основе метода стохастического доминирования // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 1 (1). С. 53-60.

10. Тушавин В.А. Квалиметрическая оценка качества работы сотрудников ИТ-компании с помощью рандомизированных показателей // Системы управления и информационные технологии. 2013. Т. 53. № 3.1. С. 178-182.

Подписной индекс журнала «Экономика и менеджмент систем управления» в объединенном каталоге «Пресса России» - **43054**